

## ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ПРЕДЕЛЫ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ ПРОИЗВОДНЫЕ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ

<sup>1,2</sup>Алексеев С. Г., <sup>2</sup>Смирнов В. В., <sup>1</sup>Зарипова К. А., <sup>3</sup>Барбин Н. М.

<sup>1</sup>НИЦ «Надежность и ресурс больших систем и машин» УрО РАН, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Уральский институт ГПС МЧС России, Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup>Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия

e-mail: 3608113@mail.ru, s\_vitaly2006@list.ru, ya.seniaa@yandex.ru, NMBarbin@mail.ru

**Аннотация.** Наступление керосиновой эры привело не только повсеместному использованию керосиновых приборов, но к появлению новой причины взрывов и пожаров в быту и на производстве, которая была связана с несовершенством конструкций керосиновых ламп, керогазов и использованием небезопасного керосина. Основным критерием безопасности керосина выступила температура вспышки. При изучении этого критерия пожаровзрывоопасности были выявлены низшая и высшая температура вспышки или другими словами низший и верхний температурные пределы воспламенения.

**Ключевые слова:** керосин, температура вспышки, температурный предел воспламенения, пожаровзрывоопасность, прибор.

## TEMPERATURE FLAMMABILITY LIMITS ARE DERIVATIVES FROM FLASH POINT

S. G. Alekseev<sup>1,2</sup>, V. V. Smirnov<sup>2</sup>, K. A. Zaripova<sup>1</sup>, N. M. Barbin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Science and Engineering Centre «Reliability and Safety of Large Systems» of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup>Ural Institute of State Fire Service of Emercom of Russia, Ekaterinburg, Russia

<sup>3</sup>Urals State Agrarian University, Ekaterinburg, Russia

Ural Institute of State Fire Service of Emercom of Russia, Ekaterinburg, Russia

e-mail: 3608113@mail.ru, s\_vitaly2006@list.ru, ya.seniaa@yandex.ru, NMBarbin@mail.ru

**Abstract.** The advent of the kerosene era led not only to the widespread use of kerosene devices, but to the emergence of a new cause of explosions and fires in everyday life and production, which was associated with imperfect kerosene lamp designs, kerosene gases and the use of unsafe kerosene. The main criterion for the safety of kerosene was the flash point. In studying this criterion of fire and explosion hazard, a lower and higher flash point or, in other words, the lower and upper flammability temperature limits were detected.

**Key words:** kerosene, flash point, flammability temperature limit, fire and explosive hazard, device

Ранее нами отмечалось, что рождение показателя температура вспышки обусловлено произошедшей революцией в нефтегазовой отрасли во второй половине 19-го столетия, когда керосин стал одним из основных продуктов нефтепереработки. В то время сырая нефть рассматривалась, как грязный керосин. Поставки на рынок доступного широкому кругу покупателей керосина способствовали исторической замене свечного освещения на керосиновое. Побочным эффектом этого шага явился рост пожаров и взрывов из-за несовершенства конструкций керосиновых приборов и применения «небезопасного» керосина с низкой температурой вспышки. Безусловно, сложившаяся ситуация с

пожаровзрывоопасностью керосина никого не устраивала, поэтому в разных странах были проведены работы по выявлению критериев для «безопасного» керосина и совершенствованию конструкций керосиновых ламп и керогазов. В качестве отправных точек для этих исследований выступили горючесть и взрывоопасность керосина, а их критериями – температуры воспламенения и вспышки соответственно. В 1862 году появились первые приборы для определения температур вспышки и воспламенения в США и Великобритании, затем к процессу создания и модернизации нафтометров<sup>4</sup> присоединились исследователи и инженеры их других стран. К концу 19-го столетия существовало порядка сотни различных приборов их модификаций для определения температуры вспышки. При этом результаты измерения на этих пирометрах обычно плохо согласовались между собой [1–7]. В связи с этим понятно стремление исследователей 19-го столетия создать такой прибор, на котором можно было определить «действительную» (реальную) температуру вспышки. Характеристика температуры вспышки, как критерия взрывоопасности керосина, сразу же наводит на мысль о её связи с нижним концентрационным пределом воспламенения. Необходимо отметить, что такой показатель пожаровзрывоопасности, как пределы воспламенения (взрываемости) возникли на 46 лет раньше появления характеристики – температуры вспышки [1, 8], но в 19-м столетии объектом исследования при нахождении пределов воспламенения были горючие газы [8–10], а изучение горючих жидкостей с целью определения данной характеристики пожаровзрывоопасности начались только в начале 20 века [11, 12]. Практическим результатом этих исследований стало не только данные о концентрационных пределах воспламенения, но и новый расчетный метод температуры вспышки через давление насыщенного пара жидкости, соответствующее нижнему концентрационному пределу воспламенения [13].

В середине 50-х годов прошлого столетия во ЦНИИПО (Центральный научно-исследовательский институт пожарной обороны. В настоящее время Всероссийский научно-исследовательский институт пожарной обороны МЧС России) был разработан прибор для температурных пределов воспламенения (рис. 1) [14, 15]. Первоначально он рассматривался как альтернатива существующим приборам для определения температуры вспышки. Результаты измерений температуры вспышки в данном аппарате хорошо коррелировались с нижним концентрационным пределом воспламенения, поэтому даже появился термин «нижний предел взрываемости или воспламенения», который первоначально отождествлялся с температурой вспышки [14, 16, 17]. Непринятие метода ЦНИИПО западным научным миром привело к разделению этих показателей и появлению ГОСТ 13922-68 [18] с методикой определения температурных пределов воспламенения, как новых показателей пожаровзрывоопасности.

Впоследствии прибор для определения температурных пределов воспламенения был модернизирован (рис. 2) и в обновленном виде был закреплен в ГОСТ 12.1.044 [19].

В Западном мире прибор (рис. 3) и методика определения температурных пределов воспламенения появились только в 1991 году и нашли свое отражение в стандарте ASTM E1232 [19].

---

<sup>4</sup> В 1860–1920-е г.г. термины: нафтометр, прибор, аппарат, пирометр и тестер для определения температуры вспышки (воспламенения) рассматривались, как синонимы. Этот подход сохранен в настоящей работе.

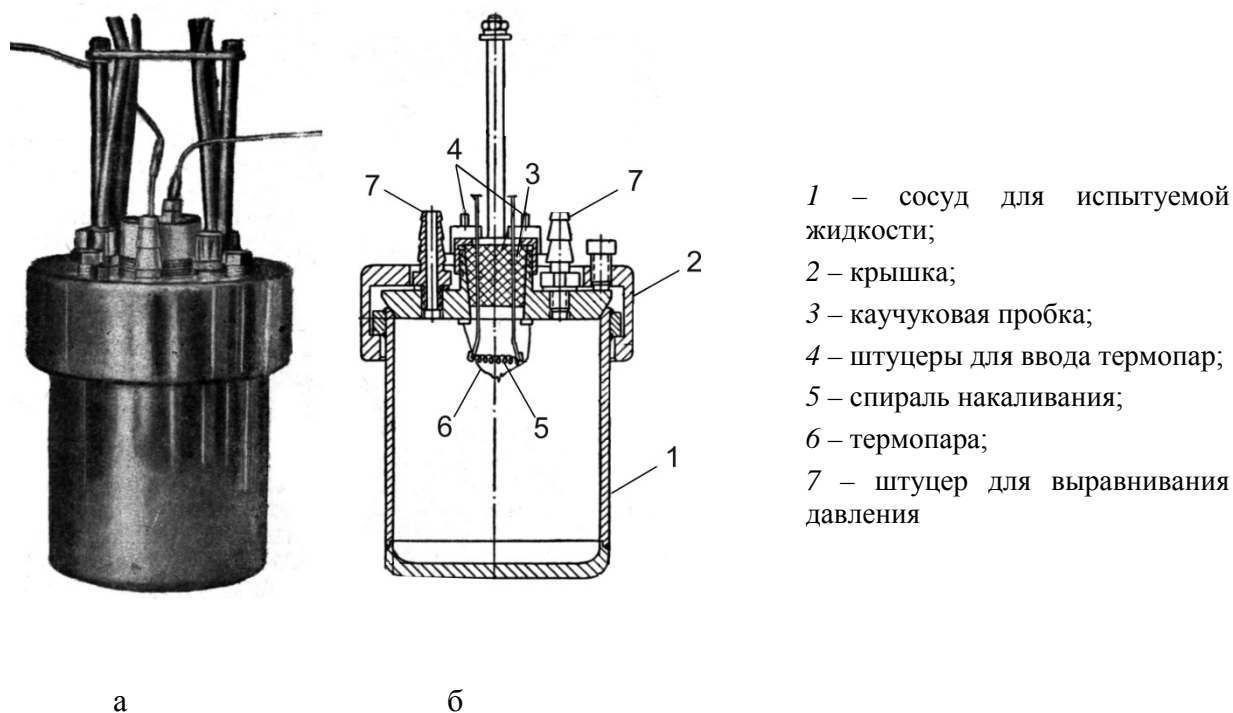


Рис. 1. Прибор ТП для определения температурных пределов: а – внешний вид; б – разрез [14]

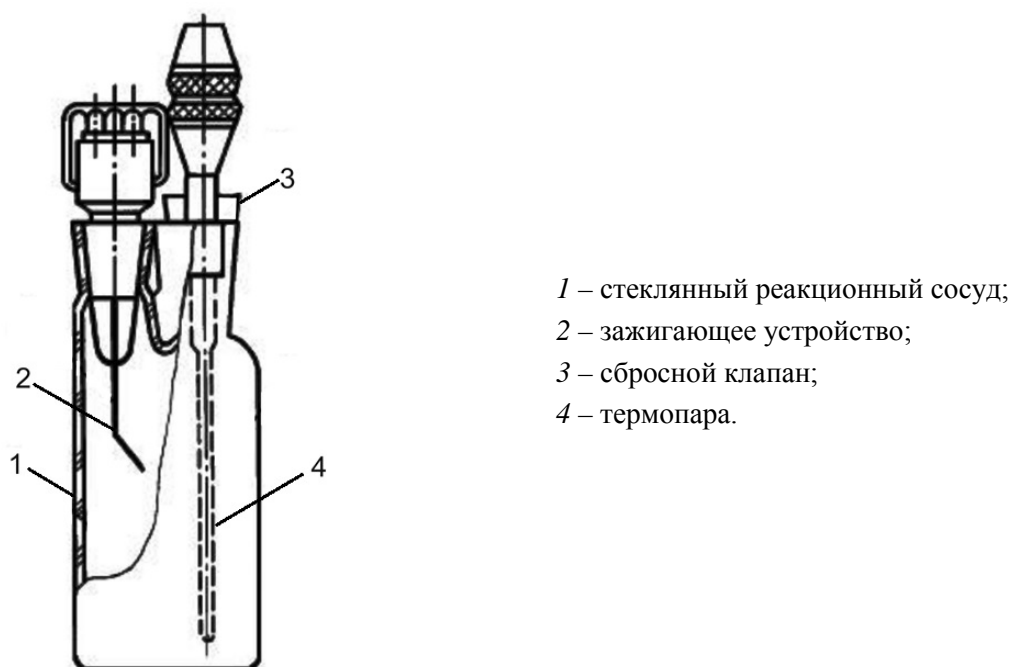


Рис. 2. Прибор для определения температурных пределов [19]

Позднее появление стандарта для определения температурных пределов воспламенения и неширокое использование этого индекса пожаровзрывоопасности явилось благотворной почвой для появления различных англоязычных названий данного параметра (low (upper) flammability temperature limit, low or lower (upper) flammability limit temperature, low (upper) flash point) [19–21].

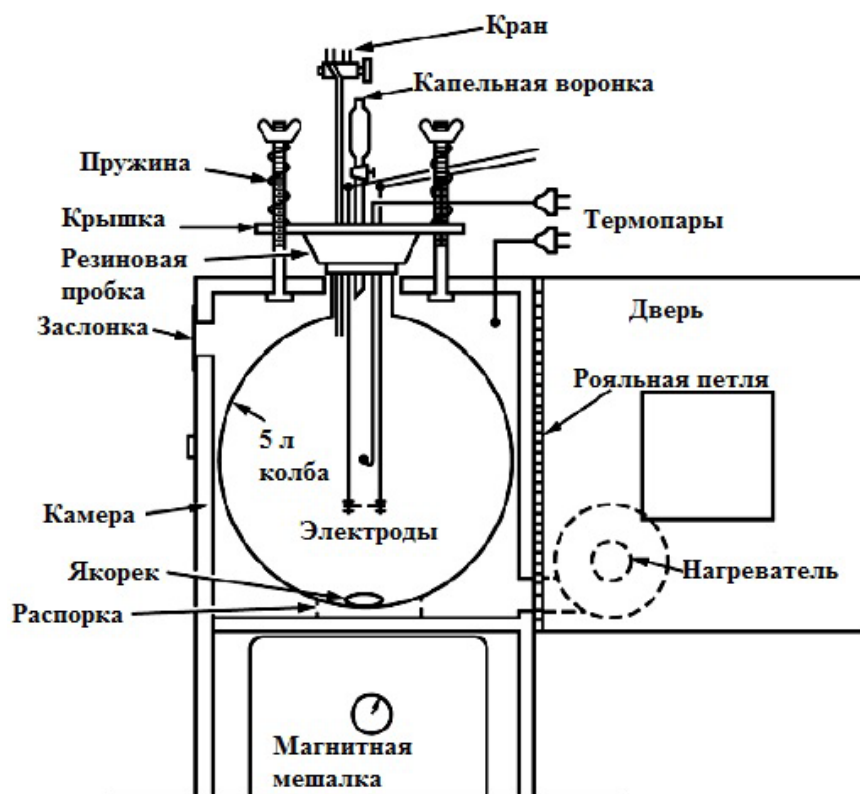
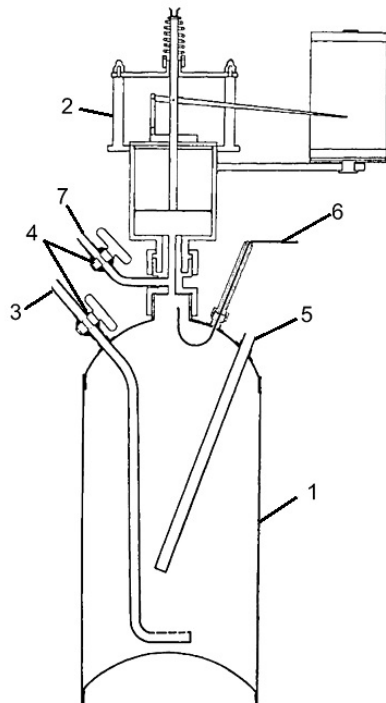


Рис. 3. Прибор для определения концентрационных и температурных пределов воспламенения по методам ASTM E681 и ASTM E1232 [19]



- 1 – латунный цилиндр;
- 2 – манометр;
- 3 – барботер для подачи воздуха;
- 4 – запорные краны;
- 5 – трубка для установки термометра;
- 6 – электрод;
- 7 – газоотводная трубка.

Рис. 4. Схема взрывного цилиндра Bradley–Hale [22]

Необходимо отметить, что советские исследователи не были первыми, кто экспериментально определил температурные пределы воспламенения. В 1909 году W. P. Bradley и C. F. Hale из университета Wesleyan представили свой прибор (рис. 4) для

изучения взаимосвязи температуры керосина и давления взрыва керосино-воздушной смеси [22]. Фактически они определили температурные пределы воспламенения, хотя данный термин ими не использовался. К сожалению данная работа W. P. Bradley и C. F. Hale осталась практически незамеченной. В последующем ряд исследователей был очень близок к предложению аппаратов для определения температурных пределов воспламенения жидкостей. Например, устройство, предложенное G. W. Jones для определения концентрационных пределов воспламенения, в принципе может использоваться для экспериментального нахождения температурных пределов воспламенения [23].

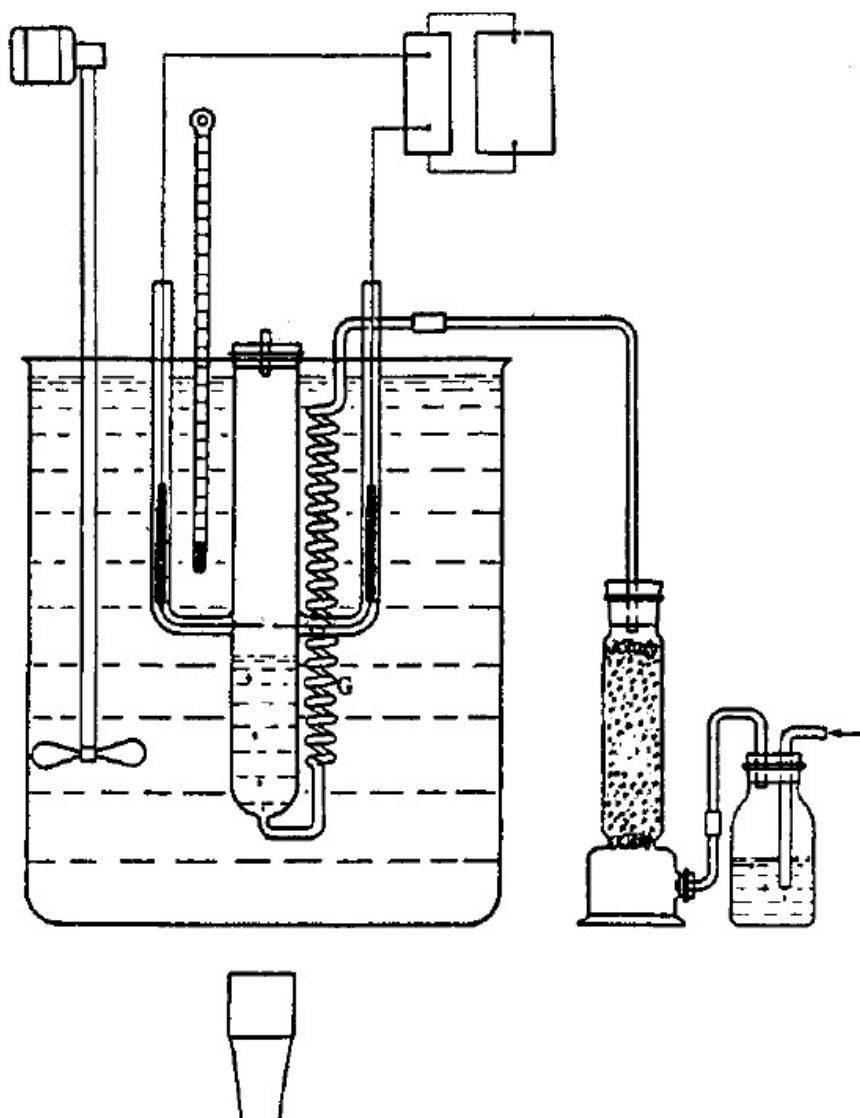


Рис. 5. Устройство G. W. Jones для определения концентрационных пределов воспламенения [23]

Однако первенство создания прибора для экспериментального определения температурных пределов осталось за советскими учеными из ЦНИИПО [14, 15].

В настоящее время, несмотря на существование стандартов по определению температурных пределов воспламенения, работа по созданию новых установок для нахождения данного показателя пожаровзрывоопасности продолжается [24].

В заключение можно отметить, что появление таких характеристик, как нижний и верхний температурные пределы воспламенения непосредственно связаны с керосиновой

эрой и температурой вспышки. Несмотря на то, что эти индексы пожаровзрывоопасности не получили такого широкого распространения, как температура вспышки, концентрационные пределы воспламенения и температура самовоспламенения, но они также являются важными показателями для обеспечения пожаровзрывобезопасности в промышленности.

### Список литературы

1. Алексеев, С. Г. Эволюция понятия «температура вспышки» / С. Г. Алексеев, В. В. Смирнов, Н. М. Барбин // Техносферная безопасность. – 2016. – № 4(13). – С. 35-53.
2. Алексеев, С. Г. История возникновения классификации легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в Великобритании / С. Г. Алексеев, В. В. Смирнов, Н. М. Барбин // История науки и техники. – 2017. – № 12. – С. 60-66.
3. Алексеев, С. Г. Температура вспышки. Часть I. История вопроса, дефиниции, методы экспериментального определения / С. Г. Алексеев, В. В. Смирнов, Н. М. Барбин // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 5. – С. 35-41.
4. Alekseev S., Smirnov V., Barbin N., Alekseeva D. Evolution of the classification of flammable and combustible liquids in Russia / S. Alekseev, V. Smirnov, N. Barbin, D. Alekseeva // Process Safety Progress. – 2018. – Vol. 37, No 2. – P. 230-236.
5. Алексеев, С. Г. История классификации легковоспламеняющихся жидкостей в США / С. Г. Алексеев, В. В. Смирнов, Н. М. Барбин // Вопросы истории естествознания и техники. – 2018. – Т. 39, № 3. – С. 508-519.
6. Алексеев, С. Г. История возникновения нафтометров и классификации легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в Германии / С. Г. Алексеев, В. В. Смирнов, Н. М. Барбин // Вестник АН Чеченской республики. – 2018 (в печати).
7. Алексеев, С. Г. Первые нафтометры для определения температуры вспышки жидкостей. 1. Открытый тигель / С. Г. Алексеев, В. В. Смирнов, Н. М. Барбин // Российский химический журнал. – 2018. – Т. 62, № 3. – С. 000.
8. Britton, L. G. Two hundred years of flammable limits / L. G. Britton // Process Safety Progress. – 2002. – Vol. 21, No 21. – P. 1-11.
9. Gill, A. H. The determination of methane and hydrogen by explosion / A. H. Gill, S. P. Hunt // Journal of American Chemical Society. – 1895. – Vol. 17, No 12. – P. 986–994.
10. Noyes, W. A. The determination of methane, carbon monoxide, and hydrogen by explosion in technical gas analysis / W. A. Noyes, J. W. Shepherd // Journal of American Chemical Society. – 1898. – Vol. 20, No 5. – P. 343–348.
11. Stewart, G. R. Course of reaction in explosions of dilute CS<sub>2</sub>-air mixtures / G. R. Stewart, J. S. Burd // Journal of Industrial Engineering Chemistry. – 1919. – Vol. 11, No 2. – P. 130–133.
12. Crouch, H. Effect of nitrogen and carbon dioxide dilutions on explosion limits of acetone and methanol and their mixtures / H. Crouch, E. K. Carver // Industrial and Engineering Chemistry. – 1925. – Vol. 17, No 6. – P. 641–642.
13. Алексеев, С. Г. Температура вспышки. Часть II. Расчет через давление насыщенного пара / С. Г. Алексеев, В. В. Смирнов, Н. М. Барбин // Пожаровзрыво-безопасность. – 2012. – Т. 21, № 10. – С. 21-35.
14. Годжелло, М. Г. Легковоспламеняющиеся и горючие жидкости. Справочник / М. Г. Годжелло, П. Г. Демидов, Е. М. Джалалов, Э. В. Коршак, И. В. Рябов. – М.: издательство Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1956. – 112 с.
15. Баратов, А. Н. Оценка пожарной опасности производств, связанных с применением горючих газов и жидкостей / А. Н. Баратов, М. Г. Годжелло. – М.: издательство Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1961. – 84 с.
16. Демидов, П. Г. Основы горения веществ / П. Г. Демидов. – М.: издательство министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1951. – 296 с.
17. Алексеев, М. В. Предупреждение пожаров от технологических причин / М. В. Алексеев. – М.: издательство Министерства коммунального хозяйства РСФСР, 1963. – 196 с.

18. Демидов, П. Г. Горение и свойства горючих веществ / П. Г. Демидов, В. С. Саушев. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1975. – 280 с.
19. ГОСТ 12.1.044-89. ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Стандартинформ, 2006. – 99 с.
19. ASTM E1232-91 (1996). Standard test method for temperature limit of flammability of chemicals. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.astm.org/databse.cart/historical/e1232-91r96.htm> (дата обращения: 01.09.18).
20. Mathieu, D. Power law expressions for predicting lower and upper flammability limit temperatures / D. Mathieu. – Industrial & Engineering Chemistry Research. – 2013. – Vol. 52. – P. 9317-9322.
21. Gharagheizi, F. Estimation of lower flammability limit temperature of chemical compounds using a corresponding state method / F. Gharagheizi, P. Ilani-Kashkouli, A. H. Mohammadi. – Fuel. – 2013. – Vol. 103. – P. 899-904.
22. Bradley, W. P. The relation between the temperature of kerosene and the explosion pressure of the supernatant mixture of air and vapor / W. P. Bradley, C. F. Halle // The Journal of Industrial and Engineering Chemistry. – 1909. – Vol. 1, No 6. – P. 345-351.
23. Jones, G. W. Inflammation limits and their practical application in hazardous industrial operations / G. W. Jones. – Chemical Review. – 1938. – Vol. 22, No 1. – P. 1-26.
24. Kong, D. Determination of flash point in air and pure oxygen using an equilibrium closed bomb apparatus / D. Kong, D. J. Ende, S. J. Brenek, N. P. Weston. – Journal of Hazardous Materials. – 2003. – Vol. 102, No 2-3. – P. 155-165.